

集波用V字型堤の集波特性

東洋建設 正会員 小松 英則
徳島大学工学部 正会員 中野 晋
同 上 正会員 三井 宏

1. 前書き

波力発電や越波による海水交流促進のためには、波のエネルギー密度を大きくすることが必要である。このような集波を目的として、波の位相のずれを利用したレンズ状の潜堤や没水板の研究がなされている。例えば、鹿島建設技術研究所¹⁾の凸レンズ型没水平板による模型実験では、深海波形勾配 0.02, 周期 1.4sec を用いて波高増幅率の最高値 3.50 を得ている。さらに、レンズ幅と入射波長の関係から平板上で波高を高める条件を求め、没水平板により波浪制御が可能と結んでいる。また、Stamnes²⁾らはフレネル・レンズ状の潜堤により、入射円筒波を一つの焦点に収束させて、波のエネルギーを集中させる実験をしている。焦点近傍の状態を調べるために、非線形性を考慮に入れて理論計算して実験結果と比較した結果、エネルギー濃縮器としてのこの潜堤の効率は波の非線形効果により損なわれるが、その効率の低下量は有意でないことを見いだしている。

本研究では、比較的堤長が長いV字型の反射堤を取り付けた導水路内で波高増幅率がどの程度の値になるかを知ることを目的とし、効率良く集波できるV字型反射堤の開角度、堤長および波高増幅率を線形解析と模型実験により検討している。

2. 線形理論による解析

開角度 μ の単純隅角において図-1 に示す座標をとると、入射角 α 、振幅 1.0 の入射波 $g_0 = \exp\{ikr \cos(\theta - \alpha)\}$ に対する隅角周辺の波の近似解は次式で示される。

$$f = \sum g_n + \chi_0 \quad (1)$$

ここに、 g_n は幾何光学項、すなわち入射波および反射波であり、 χ_0 は次式で表される散乱項³⁾である。

$$\chi_0 = -\pi/\mu \cdot \sin(\pi^2/\mu)/\sqrt{(2\pi kr)} \cdot [1/[\cos\{\pi/\mu \cdot (\theta + \alpha)\} - \cos(\pi^2/\mu)] + 1/[\cos\{\pi/\mu \cdot (\theta - \alpha)\} - \cos(\pi^2/\mu)]] \quad (2)$$

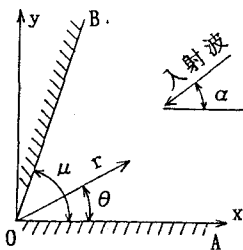


図-1 座標系

この式において、 $\mu = \pi/n$ (n は整数) のとき $\sin$ 項は 0 となり、 $\chi_0 = 0$ になる。言い換えると、開角度が $180^\circ, 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 36^\circ, 30^\circ$ などの凹隅角では、いかなる入射波に対しても回折・散乱波は発生せず、幾何光学的波のみ存在することを示している。本研究では以後、繁雑さを避けるため、隅角点で散乱波が発生しない $\mu = \pi/n$ の開角度を持つV字型反射堤を用いる。

実際の反射堤長は有限であり、図-1 の A, B が堤端とすれば、これらから発生する回折・散乱波を考慮する必要がある。反射堤 OA, OB の相対長をいずれも kl とし、入射角が開角度を 2 等分、すなわち $\alpha = \mu/2$ とし、この有限長の堤端での散乱波を考える。堤端 A, B での入射波の位相は、原点 O よりも $kl \cdot \cos(\mu/2)$ だけ早期にあるので、A, B における散乱項 χ は、いずれも次式で与えられる。

$$\chi = \chi_0 \exp\{ikl \cos(\mu/2)\} \quad (3)$$

開角度 90° の場合を 1 例として、両堤端での回折・散乱波を含めた多重反射による凹隅角点での波高および反射堤壁面沿いの波高分布の算定法を以下に示す。図-2 に入射波 g_0 , 反射波 g_1, g_2, g_3 の様相を示す。反射堤の反射率を K_R とすれば、これらはそれぞれ次式のように定義される。

$$\begin{aligned} g_0 &= \exp\{ikr \cos(\theta - \pi/4)\}, & g_1 &= K_R \exp\{ikr \cos(\theta + \pi/4)\}, \\ g_2 &= K_R \exp\{-ikr \cos(\theta + \pi/4)\}, & g_3 &= K_R^2 \exp\{-ikr \cos(\theta - \pi/4)\} \end{aligned} \quad (4)$$

図-2 に示す散乱波および反射散乱波の定義は以下の通りである。

χ_A : g_0 により A 点で発生した散乱波の OA 沿いの値。

$$\chi_A = \chi_0(r_A, \theta_A, \alpha_A) \exp\{ikl \cos(\mu/2)\}, \quad r_A = 1 - r, \quad \theta = 0, \quad \alpha = \pi - \mu/2 \quad (5)$$

χ_{AP} : OB 壁で反射した χ_A の OA 沿いの値

$$\begin{aligned} \chi_{AP} &= \chi_0(r_{AP}, \theta_{AP}, \alpha_{AP}) \exp\{ikl \cos(\mu/2)\}, \quad r_A = \sqrt{(r \cos 2\mu)^2 + (1 - r \cos 2\mu)^2} \\ \theta_{AP} &= \tan^{-1}\{r \sin 2\mu / (1 - r \cos 2\mu)\}, \quad \alpha_{AP} = \pi - \mu/2 \end{aligned} \quad (6)$$

χ_B : g_0 により B 点で発生した散乱波の OA 沿いの値。

$$\chi_B = \chi_0(r_B, \theta_B, \alpha_B) \exp\{ikl \cos(\mu/2)\}, \quad r_B = \sqrt{(r \sin \mu)^2 + (1 - r \cos \mu)^2}$$

$$\theta_B = \tan\{r \sin \mu / (1 - r \cos \mu)\},$$

$$\alpha_B = \pi - \mu/2$$

(7)

χ_{A1} : 反射波 g_2 により A 点で発生した散乱波の OA 沿いの値。このように入射・反射領域の境界線上に A がある場合、 g_2 も 0.5 倍とする。

$$\chi_{A1} = 0.5 \chi_0(r_{A1}, \theta_{A1}, \alpha_{A1}) \exp\{ikl \cos(\mu/2)\}, r_{A1} = 1 - r, \theta_{A1} = 0, \alpha_{A1} = \mu/2 \quad (8)$$

χ_{A2} : OB 壁で反射した χ_{A1} の OA 沿いの値。

$$\chi_{A2} = 0.5 \chi_0(r_{A2}, \theta_{A2}, \alpha_{A2}) \exp\{ikl \cos(\mu/2)\}, r_{A2} = \sqrt{\{(r \sin 2\mu)^2 - (1 - r \cos 2\mu)^2\}}$$

$$\theta_{A2} = \tan^{-1}\{r \sin 2\theta / (1 - r \cos 2\theta)\},$$

$$\alpha_{A2} = \mu/2$$

(9)

χ_{B1} : 反射波 g_1 により B 点で発生した散乱波の OA 沿いの値。この場合も入・反射領域の境界線上に B 点が位置するので、 g_1 も 0.5 倍する。

$$\chi_{B1} = 0.5 \chi_0(r_{B1}, \theta_{B1}, \alpha_{B1}) \exp\{ikl \cos(\mu/2)\}, r_{B1} = \sqrt{\{(r \sin \mu)^2 + (1 - r \cos \mu)^2\}}$$

$$\theta_{B1} = \tan^{-1}\{r \sin \mu / (1 - r \cos \mu)\},$$

$$\alpha_{B1} = \mu/2$$

(10)

以上の各項を合計した次式が、開角度 90° の反射壁間の波を表す。

$$f = \Sigma g_n + \chi_A + (1 + K_R) \chi_B + K_R \chi_{AP} +$$

$$K_R \chi_{A2} + (1 + K_R) \chi_{B1} \quad (11)$$

この式 (10) において、 $\theta = 0^\circ$ または 90° と置き、実数部と虚数部に分けて絶対値を計算すれば、それぞれ OA または OB 沿いの波高比 K が求まる。以上の添字付きの χ 、例えば χ_A は、次式に示す χ_0 の中の (r, θ, α) の代わりに上式で定義した $(r_A, \theta_A, \alpha_A)$ を用いた散乱項である。

$$\begin{aligned} \text{Re } \chi_0 = & -0.5[(1-C-S)\cos\{kr \cos(\theta - \alpha)\} + \\ & (C-S)\sin\{kr \cos(\theta - \alpha)\}] \mp 0.5K_R[\\ & (1-C'-S')\cos\{kr \cos(\theta + \alpha)\} + \\ & (C'-S')\sin\{kr \cos(\theta + \alpha)\}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Im } \chi_0 = & -0.5[(1-C-S)\sin\{kr \cos(\theta + \alpha)\} - \\ & (C-S)\cos\{kr \cos(\theta + \alpha)\}] \mp 0.5K_R[\\ & (1-C'-S')\sin\{kr \cos(\theta + \alpha)\} - \\ & (C'-S')\cos\{kr \cos(\theta + \alpha)\}] \end{aligned} \quad (12)$$

ここに、複号の上側は反射領域、すなわち下記に定義する σ と σ' がいずれも正になる場合、複号の下側は入射領域、すなわち σ と σ' のいずれかが負になる場合に対応する。C および S は

$$\begin{aligned} \int_0^{\sigma} \cos(\pi/2 \cdot u^2) du &= C, \\ \int_0^{\sigma} \sin(\pi/2 \cdot u^2) du &= S \end{aligned}$$

で定義される Fresnel 積分である。C', S' は次式に定義する σ の代わりに σ' を用いた積分である。

$$\begin{aligned} \sigma &= 2\sqrt{(2r/L) \cdot \cos 0.5(\theta - \alpha)}, \\ \sigma' &= 2\sqrt{(2r/L) \cdot \sin 0.5(\theta + \alpha)} \end{aligned} \quad (13)$$

反射堤開角度が $\mu = 60^\circ, 45^\circ, 36^\circ, 30^\circ$ の場合の反射壁面沿いの波高分布の算定式を以下に示す。表 1 に示す幾何光学項と以下の散乱項を式 (1) のように合計し、絶対値をとれば壁面に沿う波高比 K が求まる。特に断らない限り、各散乱項の算定法は式 (12) と同様である。

$$\mu = 60^\circ$$

$$\chi = \chi_A + (1 + K_R) \chi_B + K_R(1 + K_R) \chi_{AP} + K_R(1 + K_R) \chi_{A2} + (1 + K_R) \chi_{B1} \quad (14)$$

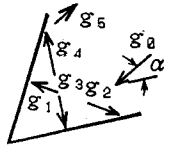
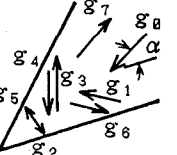
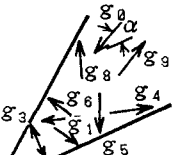
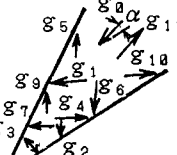
$0 \leq r/L \leq 0.5 \cdot 1/L$: すべての散乱項は入射領域。

Σg_n は表 1 の値。

$0.5 \cdot 1/L \leq r/L \leq 1/L$: χ_B は入射領域、 $\chi_A, \chi_{AP}, \chi_{A2}, \chi_{B1}$ は反射領域。

$$\Sigma g_n = g_0 + g_1 + g_2 + g_5$$

表 1 各隅角における幾何光学項

	$(\alpha = \pi/6)$ $g_0 = \exp[ikr \cos\{\theta - (\pi/6)\}]$ $g_1 = K_R \exp[ikr \cos\{\theta + (\pi/6)\}]$ $g_2 = K_R^2 \exp[-ikr \cos\{\theta + (\pi/6)\}]$ $g_3 = K_R \exp[ikr \cos\{\theta - (\pi/2)\}]$ $g_4 = K_R^2 \exp[ikr \cos\{\theta + (\pi/2)\}]$ $g_5 = K_R^3 \exp[-ikr \cos\{\theta - (\pi/6)\}]$
	$(\alpha = \pi/8)$ $g_0 = \exp[ikr \cos\{\theta - (\pi/8)\}]$ $g_1 = K_R \exp[ikr \cos\{\theta + (\pi/8)\}]$ $g_2 = K_R^2 \exp[-ikr \cos\{\theta + (3\pi/8)\}]$ $g_3 = K_R^3 \exp[-ikr \cos\{\theta - (3\pi/8)\}]$ $g_4 = K_R \exp[ikr \cos\{\theta - (3\pi/8)\}]$ $g_5 = K_R^2 \exp[ikr \cos\{\theta + (3\pi/8)\}]$ $g_6 = K_R^3 \exp[-ikr \cos\{\theta + (\pi/8)\}]$ $g_7 = K_R^4 \exp[-ikr \cos\{\theta - (\pi/8)\}]$
	$(\alpha = \pi/10)$ $g_0 = \exp[ikr \cos\{\theta - (\pi/10)\}]$ $g_1 = K_R \exp[ikr \cos\{\theta + (\pi/10)\}]$ $g_2 = K_R^2 \exp[ikr \cos\{\theta - (\pi/2)\}]$ $g_3 = K_R^3 \exp[-ikr \cos\{\theta + (\pi/2)\}]$ $g_4 = K_R^4 \exp[-ikr \cos\{\theta + (\pi/10)\}]$ $g_5 = K_R \exp[ikr \cos\{\theta - (3\pi/10)\}]$ $g_6 = K_R^2 \exp[ikr \cos\{\theta - (3\pi/10)\}]$ $g_7 = K_R^3 \exp[-ikr \cos\{\theta + (3\pi/10)\}]$ $g_8 = K_R^4 \exp[-ikr \cos\{\theta - (3\pi/10)\}]$ $g_9 = K_R^5 \exp[-ikr \cos\{\theta - (\pi/10)\}]$
	$(\alpha = \pi/12)$ $g_0 = \exp[ikr \cos\{\theta - (\pi/12)\}]$ $g_1 = K_R \exp[ikr \cos\{\theta + (\pi/12)\}]$ $g_2 = K_R^2 \exp[ikr \cos\{\theta - (5\pi/12)\}]$ $g_3 = K_R^3 \exp[ikr \cos\{\theta + (5\pi/12)\}]$ $g_4 = K_R^4 \exp[-ikr \cos\{\theta + (\pi/4)\}]$ $g_5 = K_R^5 \exp[-ikr \cos\{\theta - (\pi/4)\}]$ $g_6 = K_R \exp[ikr \cos\{\theta - (\pi/4)\}]$ $g_7 = K_R^2 \exp[ikr \cos\{\theta + (\pi/4)\}]$ $g_8 = K_R^3 \exp[-ikr \cos\{\theta + (5\pi/12)\}]$ $g_9 = K_R^4 \exp[-ikr \cos\{\theta - (5\pi/12)\}]$ $g_{10} = K_R^5 \exp[-ikr \cos\{\theta + (\pi/12)\}]$ $g_{11} = K_R^6 \exp[-ikr \cos\{\theta - (\pi/12)\}]$

$$\begin{aligned}\operatorname{Re} \Sigma g_n &= (1+K_R+K_R^2+K_R^3)\cos(kr \cos \pi/6) , \\ \operatorname{Im} \Sigma g_n &= (1+K_R-K_R^2-K_R^3)\sin(kr \cos \pi/6)\end{aligned}\quad (15)$$

$$\mu = 45^\circ$$

$$\chi = \chi_A + K_R(1+K_R)\chi_{AP} + (1+K_R)\chi_B + \chi_{A1} + K_R(1+K_R)\chi_{A2} + (1+K_R)\chi_{B1} \quad (16)$$

$0 \leq r/L \leq 1/L \cdot \tan(\pi/8)$: すべての散乱項は反射領域。

Σg_n は表 1 の値。

$1/L \cdot \tan(\pi/8) \leq r/L \leq 1/L$: χ_{AP} , χ_B は入射領域、 χ_A , χ_{A1} , χ_{A2} , χ_{B1} は反射領域。

$$\begin{aligned}\operatorname{Re} \Sigma g_n &= (1+K_R+K_R^3+K_R^4)\cos(kr \cos \pi/8) , \\ \operatorname{Im} \Sigma g_n &= (1+K_R-K_R^3-K_R^4)\sin(kr \cos \pi/8)\end{aligned}\quad (17)$$

$$\mu = 36^\circ$$

$$\chi = \chi_A + (1+K_R)\chi_B + K_R(1+K_R)\chi_{AP} + \chi_{A1} + K_R(1+K_R^2)\chi_{A2} + \chi_{B1} + K_R^2(1+K_R)\chi_{BP} \quad (18)$$

ここに、 χ_{BP} は χ_B の鏡像散乱項で、以下のように定義される。

$$\chi_{BP} = \chi_0(r_{BP}, \theta_{BP}, \alpha_{BP}) \exp\{ikr \cos(\pi/8)\} , \quad r_{BP} = \sqrt{\{(r \sin 3\mu)^2 + (1-r \cos 3\mu)^2\}}$$

$$\theta_{BP} = \tan^{-1}\{(r \sin 3\mu)/(1-r \cos 3\mu)\} , \quad \alpha_{BP} = \pi - \mu/2$$

$0 \leq r/L \leq 1/L \cdot \tan(\pi/10)/\{\sin(2\pi/5)+\cos(2\pi/5) \cdot \tan(\pi/10)\}$: すべての散乱項は反射領域。

Σg_n は表 1 の値。

$1/L \cdot \tan(\pi/10)/\{\sin(2\pi/5)+\cos(2\pi/5) \cdot \tan(\pi/10)\} \leq r/L \leq 1/L \cdot \tan(\pi/10)/$

$\{\sin(\pi/5)+\cos(\pi/5) \tan(\pi/10)\}$:

χ_{AP} は入射領域。これ以外のすべての散乱項は反射領域。

$$\begin{aligned}\operatorname{Re} \Sigma g_n &= (1+K_R+K_R^4+K_R^5)\cos\{kr \cos(\pi/10)\} + (K_R+K_R^2+K_R^3+K_R^4)\cos\{kr \cos(3\pi/10)\} \\ \operatorname{Im} \Sigma g_n &= (1+K_R-K_R^4-K_R^5)\sin\{kr \cos(\pi/10)\} + (K_R+K_R^2-K_R^3-K_R^4)\sin\{kr \cos(3\pi/10)\}\end{aligned}\quad (19)$$

$1/L \cdot \tan(\pi/10)/\{\sin(\pi/5)+\cos(\pi/5) \cdot \tan(\pi/10)\} \leq r/L \leq 1/L$: χ_{AP} , χ_B は入射領域。これら以外の散乱項は反射領域。

$$\begin{aligned}\operatorname{Re} \Sigma g_n &= (1+K_R+K_R^4+K_R^5)\cos\{kr \cos(\pi/10)\} \\ \operatorname{Im} \Sigma g_n &= (1+K_R-K_R^4-K_R^5)\sin\{kr \cos(\pi/10)\}\end{aligned}\quad (20)$$

$$\mu = 30^\circ$$

$$\begin{aligned}\chi &= \chi_A + (1+K_R)\chi_B + K_R(1+K_R)\chi_{AP} + \chi_{A1} + K_R(1+K_R) + \\ &\quad (1+K_R)\chi_{B1} + K_R^2(1+K_R)\chi_{BP} + K_R^2(1+K_R)\chi_{AP1}\end{aligned}\quad (21)$$

ここに、 χ_{AP1} は次式で定義される χ_A の鏡像散乱項である。

$$\chi_{AP1} = \chi_0(r_{AP1}, \theta_{AP1}, \alpha_{AP1}) \exp\{ikr \cos(\mu/2)\} , \quad \alpha_{AP1} = \pi - \mu/2 ,$$

$$r_{AP1} = \sqrt{\{(r \sin 4\mu)^2 + (1-r \cos 4\mu)^2\}} , \quad \theta_{AP1} = \tan^{-1}\{(r \sin 4\mu)/(1-r \cos 4\mu)\}$$

$0 \leq r/L \leq 1/L \cdot \tan(\pi/10)/\{\sin(2\pi/5)+\cos(2\pi/5) \cdot \tan(\pi/10)\}$: 散乱項はすべて反射領域。

Σg_n は表 1 の値。

$1/L \cdot \tan(\pi/10)/\{\sin(2\pi/5)+\cos(2\pi/5) \cdot \tan(\pi/10)\} \leq r/L \leq 1/L \cdot \tan(\pi/12)/\{\sin(\pi/6)+$

$\cos(\pi/6) \cdot \tan(\pi/12)\}$: χ_{AP} は入射領域。それ以外は反射領域。

$$\begin{aligned}\operatorname{Re} \Sigma g_n &= (1+K_R+K_R^5+K_R^6)\cos\{kr \cos(\pi/12)\} + (K_R+K_R^2+K_R^4+K_R^5)\cos\{kr \cos(\pi/4)\} \\ \operatorname{Im} \Sigma g_n &= (1+K_R-K_R^5-K_R^6)\sin\{kr \cos(\pi/12)\} + (K_R+K_R^2-K_R^4-K_R^5)\sin\{kr \cos(\pi/4)\}\end{aligned}\quad (22)$$

$1/L \cdot \tan(\pi/12)/\{\sin(\pi/6)+\cos(\pi/6) \cdot \tan(\pi/12)\} \leq r/L \leq 1/L$: χ_{AP} , χ_B は入射領域。それら以外の散乱項は反射領域。

$$\operatorname{Re} \Sigma g_n = (1+K_R+K_R^5+K_R^6)\cos\{kr \cos(\pi/12)\} , \quad \operatorname{Im} \Sigma g_n = (1+K_R-K_R^5-K_R^6)\sin\{kr \cos(\pi/12)\} \quad (23)$$

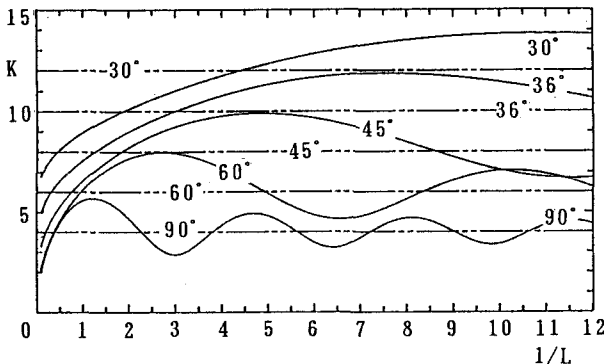


図-3 隅角点の波高比 ($K_R=1.0$)

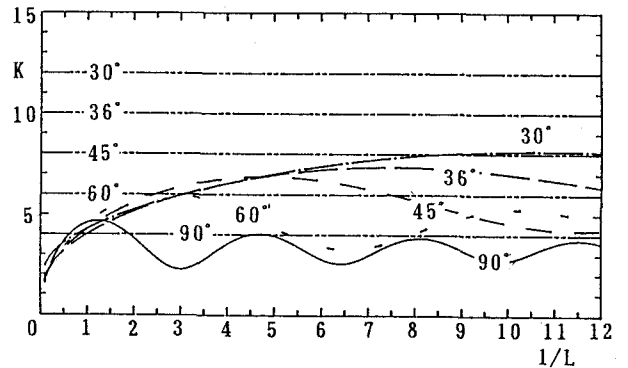


図-4 隅角点の波高比 ($K_R=0.8$)

凹隅角点での波高比 K が反射堤の相対堤長 $1/L$ により、どのように変化するかを調べるために、上述の計算結果から隅角点だけの波高比 K を取り出して、図-3 ($K_R=1.0$) および 4 ($K_R=0.8$) に示す。図中の2点鎖線は、散乱項を除いた幾何光学項のみによる波高比である。いずれの場合も、 $1/L$ が大きくなるにつれて K の値は大きくなり、幾何光学項のみによる波高比を越えたところで極大値を生じる。さらに $1/L$ が大きくなると極大値が発生し続けるが、最初に生じる極大値が最も大きい。この現象は V 字型集波堤の有効堤長を決定するのに役立つと考えられる。

3. 実験値と理論値の比較

3.1 集波堤の有効長

長さ 30m、幅 15m、水深(水平底) 30cm の平面水槽で、波高 $H=2.60$ cm、周期 0.90sec、波長 $L=117.0$ cm、深海波形勾配 $H_0/L_0=0.02$ の 1 種類の入射波で模型実験をした。導水路の沖側先端に V 字型集波堤を取り付けた模型の諸元は表 2 に示す。表中の $1/L$ は集波堤の相対堤長、 b/L は導水路の相対幅で、使用した入射波が 1 種類のため、この表は実験ケースでもある。

図-5 は、実験結果とそれに対応する理論計算結果を比較し

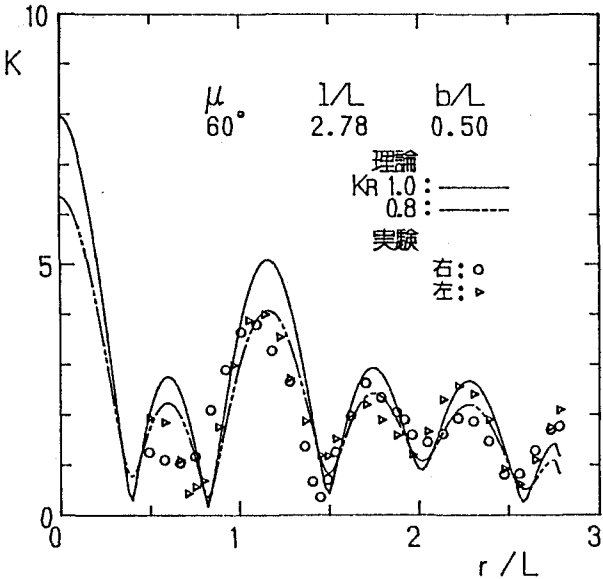


図-5 反射堤壁面沿いの波高分布

た 1 例である。図中の○および△印は、造波機から見てそれぞれ右側および左側の集波堤壁面に沿う波高比の実験結果である。この図からは、反射率 0.8 の理論曲線が全般に実験結果と一致していると言える。詳細に見ると、導水路開口部に近い壁面では実験結果と必ずしも一致しておらず、導水路の相対幅が広いほどこの傾向が見られる。この原因は、導水路開口部から沖方向に発散する散乱波によるものと考えられる。すなわち、理論計算では隅角点で散乱波が発生しない条件を用いているのに、実験では隅角点に導水路が開口しているからである。このため、開角度 $\mu=90^\circ, 60^\circ, 45^\circ$ においては、相対堤長 $1/L$ が一定なら、導水路の相対幅 b/L が狭いほど実験値と一致する。しかし、 $\mu=36^\circ, 30^\circ$ の場合には理論曲線と実験値はややずれる傾向にあり、線形理論では説明できない何らかの非線形現象が起こり始めているものと考えられる。以上の集波堤沿いの波高分布の実験値と線形理論値の比較結果から、図-3 に示した凹隅角の相対堤長と隅角点の波高比の関係は、V 字型反射堤の有効堤長の決定に十分役立つと言えよう。

3.2 導水路内の進行波の波高増幅率

導水路内の進行波の波高増幅率 K の実験結果を、以下に示す幅の狭い河口内の波の理論⁴⁾ および通常の波のエネルギー保存理論と比較してみる。まず、幅の狭い河口内の波の理論によれば、河口内に侵入した進行波の波高比は、図-6 に示す C の絶対値で与えられる。この C は河口外海で生じている完全重複波の波高比 2.0 に対する値であって、この関係が、隅角点の波高と導水路内の波高の関係にも成立するものと仮定する。したがって、 $K_R=0.8$ とした隅角点の波高比を K_0 (すなわち、図-4 から読み取った K 値) とすれば、導水路内の進行波の波高増幅率 K は次式で求めることが出来る。

表 2 実験ケース

$\mu=90^\circ, b/L=$			$\mu=60^\circ, b/L=$		
0.7	0.5	0.33	0.7	0.5	0.33
1.30	1.30	1.30	2.00	2.00	2.00
3.29	2.09	2.09	2.78	2.78	2.78
2.86	2.86	2.86	3.57	3.57	3.99
$\mu=45^\circ, b/L=$			$\mu=36^\circ, b/L=$		
0.7	0.5	0.33	0.7	0.5	0.33
1.85	1.85	1.85	2.95	2.95	2.95
3.06	3.06	2.63	3.73	3.73	3.73
3.84	3.84	3.41	4.16	4.51	4.51
$\mu=30^\circ, b/L=$					
0.7	0.5	0.33			
2.90	2.90	2.90			
3.68	3.68	3.68			
4.47	4.47	4.47			

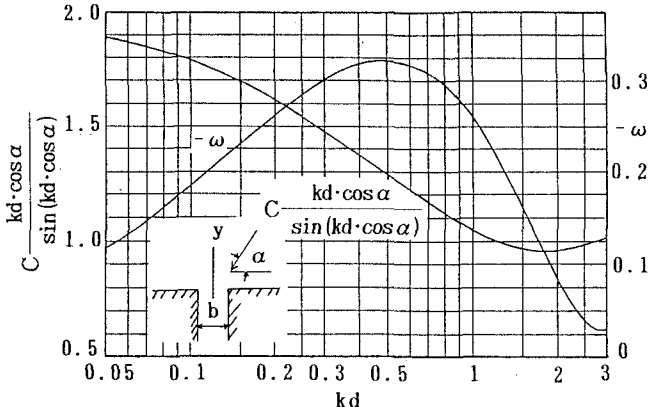


図-6 河口の C, ω の値

$$K = K_0 \cdot C / 2 \quad (24)$$

波のエネルギー保存理論は、反射堤の開口部に入射した波のエネルギーはそのまま導水路内に保存されると仮定したもので、導水路幅を b 、集波堤の開口幅、すなわち反射堤先端間の距離を b_1 とすれば、導水路内の進行波波高増幅率 K は次式で算出される。

$$K = \sqrt{b_1 / b} \quad (25)$$

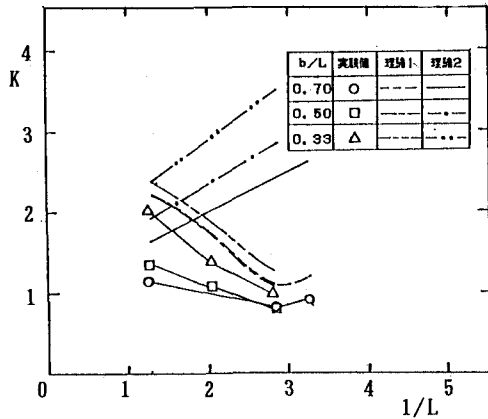


図-7 導水路内波高比 ($\mu = 90^\circ$)

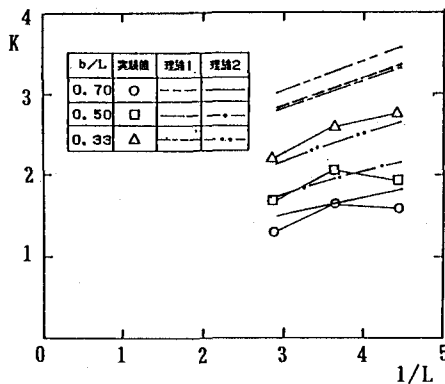


図-8 導水路内波高比 ($\mu = 30^\circ$)

導水路内波高増幅率の実験結果を図-7 および 8 に示す。図中に併記した理論1 および 2 の曲線は、それぞれ前者および後者の理論による計算値である。理論1 は総てのケースで過大な K 値を与えるが、総体的に実験結果と傾向が一致している。詳細に見ると、 μ が小さいほど、また b/L が大きいほど K は過大になる傾向を示す。この原因としては、 K の算定に用いた幅の狭い河口内の波の理論値が $\mu = 180^\circ$ の場合に相当すること、しかもこの理論は b/L が大きいほど精度が落ちること、さらに前述のように、 μ が小さい場合には非線形現象が起こっているらしいことなどが考えられる。

$\mu = 30^\circ, 36^\circ, 45^\circ$ の場合、少数の例外を除いて実験値は理論2 による K 値の 80~150% 内に入っており、 b/L や $1/L$ の増減に伴う変化傾向も一致している。 $\mu = 60^\circ$ および 90° の場合は、 $1/L$ の増減に伴う理論2 による K 値の変化は、全く逆の傾向を示している。この原因は、開角度 μ が大きい場合、理論1 の仮定のように沖向きの反射波があるためと思われる。

4. 後書き

越波量を増大させるにはまず集波特性を知る必要があり、模型実験に理論的検討を加えた。その要約を以下に示す。

- (1) 線形散乱波理論と模型実験結果を比較し、V 字型集波堤の有効長を求めた。
- (2) 集波堤の開角度および導水路の相対幅が小さいほど、導水路内の波高増幅率は大きい。なお、開角度が小さい場合に、水槽に制限されて集波堤長を十分にとれなかったため、相対堤長が長くなるほど、導水路内の波高増幅率は大きくなった。

(3) 導水路内の波高増幅率の予測には、集波堤の開角度が $45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ の場合は線形散乱理論が、 $30^\circ, 36^\circ$ の場合は通常の波のエネルギー保存則が適している。

なお、集波堤の越波増大機能については、本年の海岸工学論文集に発表する。最後に、この研究は文部省科学研究費補助金 一般研究 (B) による一部であることを付記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 今井 貫爾・秋山 義信・池谷 毅：波浪制御技術に関する研究，鹿島技術研究所年報第35号，pp.194-154, 1987.
- 2) Stamnes, J.J., O.Lovhaugen and B.Spjeikavik: Nonlinear focusing of surface waves by a lens-theory and experiment, J.Fluid Mech., vol.135, pp.71-94, 1983.
- 3) 三井 宏：沿岸構造物からの反射波問題とその対策，土木学会関西支部昭和53年度講習会テキスト，沿岸の開発・保全と環境アセスメント，pp.21-37, 1978.
- 4) 海岸構造物不連続部の波高分布について(第1報)，第13回海岸工学講演会講演集，pp.80-86, 1966.